

# Ecologia

## 7 Energia e ciclagem dos nutrientes



### 1. Introdução

#### Iniciando conversa

“Professor, eu não posso comer muitas calorias, senão vou engordar!”. Quantas vezes já escutamos esse tipo de frase em nossa escola... Este pode ser um bom ponto de partida para introduzir o estudo sobre o tema abordado nesta semana. Basta lembrar que somos consumidores e que as famosas “calorias” fazem parte da transferência de energia em uma cadeia alimentar!

Na semana passada discutimos os aspectos básicos sobre os componentes tróficos dos ecossistemas. Nesta semana vamos procurar integrar todo o conhecimento adquirido ao longo das últimas semanas para entender um pouco mais sobre como os ecossistemas são organizados. Nesta semana, aprofundaremos esses conhecimentos e relacionar-nos-emos mais diretamente com o fluxo de energia e de matéria e a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas. Bom estudo!

#### Objetivos da semana

Ao final desta semana esperamos que você:

- entenda os conceitos de produtividade primária líquida e bruta;
- conheça as pirâmides ecológicas;
- entenda como funciona o ciclo de energia e de matéria nos ecossistemas;
- identifique alguns dos problemas ambientais causados pelo desequilíbrio destes ciclos;

## 2. Energia e matéria nos ecossistemas

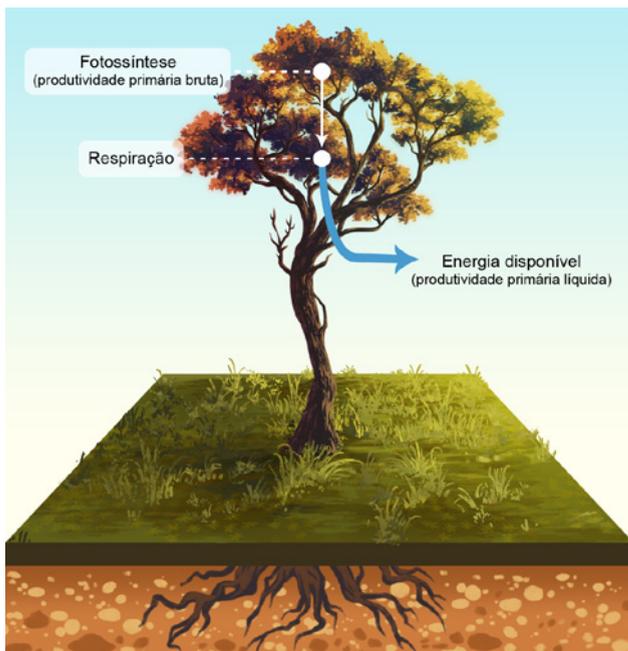


Figura 7.1 Representação da alocação de energia pelas plantas. /  
Fonte: Cepa

Conforme vimos na semana passada, os consumidores e seus alimentos estão relacionados por meio de cadeias e teias alimentares interativas, através da qual a energia e a matéria dos ecossistemas são movidas. Já sabemos que podemos classificar os seres vivos de acordo com a forma como obtêm matéria orgânica, onde se situam na cadeia de transferências de matéria, e de acordo com a natureza de seu alimento.

O ciclo de energia se inicia por meio da transformação da energia solar em energia química por meio dos seres fotossintetizantes. Esta medida é chamada de **produtividade primária bruta**. Entretanto, parte da energia transformada é utilizada pelas plantas em sua respiração. A diferença entre a produtividade primária bruta e a respiração realizada pelos vegetais é chamada de **produtividade primária líquida**, e corresponde à quantidade de energia disponível para o próximo nível trófico (Figura 7.1).

Desta forma, a energia disponível para assimilação diminui à medida que transitamos entre os níveis, ou seja, a energia disponível para os consumidores primários é sempre maior do que a disponível para os secundários, e assim sucessivamente. Um padrão que podemos perceber é que a maior parte das cadeias não é muito longa, pois apenas uma pequena porção de energia está disponível aos níveis tróficos superiores (Figura 7.2).

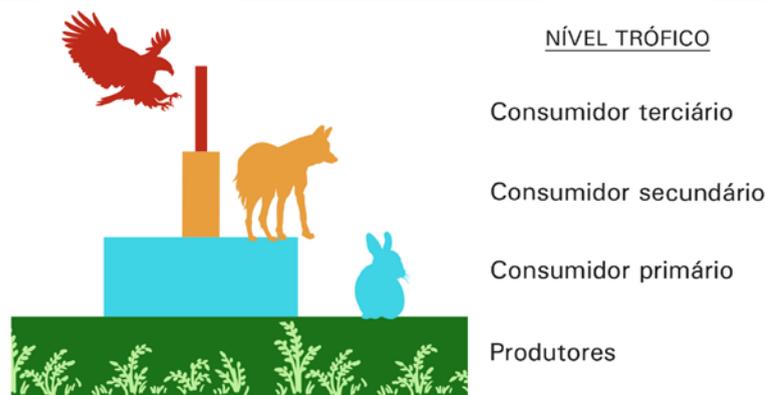


Figura 7.2 Pirâmide de energia representando a quantidade de energia disponível para o nível trófico seguinte. / Fonte: Cepa

Desta forma, na abordagem ecossistêmica estão envolvidos os produtores primários, consumidores, decompositores, detritívoros, além do ambiente físico químico onde essas interações ocorrem. Assim, partimos dos estoques iniciais de matéria orgânica: a biomassa

dos produtores (produto primário líquido) e a matéria orgânica morta ou detritos. Em um nível imediatamente acima, incluem-se, por um lado, os herbívoros (tradicionalmente designados como consumidores primários) e, por outro, os detritívoros e decompositores (juntos pelo fato de se utilizarem diretamente da matéria orgânica morta). O nível seguinte é o que inclui o primeiro elo da série de carnívoros e também a categoria dos seres microbívoro (que se alimentam de decompositores). Daí por diante sucedem-se os demais níveis correspondentes aos elos remanescentes da cadeia de carnívoros.

### 3. As pirâmides ecológicas

As conhecidas pirâmides ecológicas são representações gráficas da contribuição relativa dos vários níveis tróficos, através dos quais se transfere matéria e flui energia no ecossistema. Existem três tipos de pirâmides: as de **biomassa**, de **número** e de **energia**.

Acabamos de aprender que pirâmides energéticas são representações de fluxo (Figura 7.2); este, por sua vez, não está obrigatoriamente vinculado ao estoque: um fluxo energético intenso pode ocorrer através de um pequeno estoque de biomassa e vice-versa. É fácil imaginar uma pia cheia de água (estoque grande), com a torneira e o ralo, ambos, deixando passar 5 litros de água por minuto (fluxo intenso). O mesmo fluxo poderia ocorrer, estando a pia com pouca água (estoque pequeno) ou mesmo vazia! Ao contrário das pirâmides de números e de biomassa, as de energia nunca podem ser invertidas exatamente por isso: se o ralo da pia usada como exemplo for ligado à torneira de outra pia, nesta última seria impossível haver um fluxo maior que 5 litros por minuto (faltaria água para isso). Aqui, as duas pias ligadas em série correspondem a dois níveis tróficos sucessivos.

Já pirâmides de número são representações gráficas do número de indivíduos (Figura 7.3). Ao contrário das pirâmides de energia, as pirâmides de número podem ser invertidas. Considere o segundo esquema: um grande número de gramíneas sustenta um número menor de gado, que por sua vez, abriga uma enorme quantidade de carrapatos. O mesmo é verdade para o terceiro esquema.

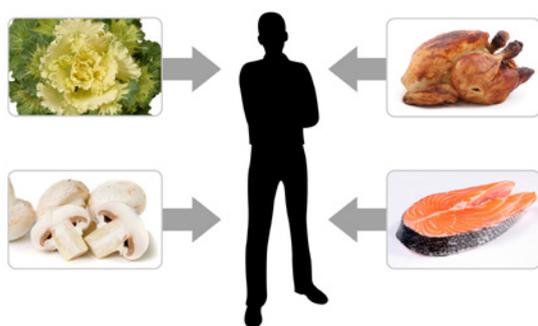


Figura 7.3 Representação de pirâmides de número. / Fonte: Cepa

E por fim, pirâmides de biomassa são representações do peso seco total de um nível. Por exemplo, se considerarmos a cadeia milho – gafanhotos – sapo – cobras veremos que o peso seco do milho disponível é muito maior do que o dos gafanhotos, e assim sucessivamente. Assim como a pirâmide de número, pirâmides de biomassa podem ser invertidas. Entretanto, quando consideramos ambientes aquáticos observamos que o peso seco do fitoplâncton existente (produtores) é menor do que o de zooplâncton, e assim sucessivamente. Isso porque os produtores nesse caso se reproduzem de maneira rápida e contínua, de modo que apesar de em dado momento sua biomassa ser menor, esses produtores podem sustentar uma grande biomassa de consumidores. Desta forma, produtores bem menores mas em grande quantidade são ingeridos por consumidores cada vez maiores.

## 4. Fluxo energético através dos ecossistemas

Apesar de as pirâmides de energia representarem, de modo satisfatório, o fluxo de energia através dos diversos níveis tróficos, ainda que adotemos o modelo trófico aqui apresentado, elas não representam a matéria orgânica armazenada, nem as entradas e saídas de energia na forma de subsídios internos ou externos e trabalhos, nem as trocas de energia com outros ecossistemas. Ademais, é grande a diversidade de organismos que, na comunidade em que vivem, atuam em mais de um nível trófico simultaneamente.



Um exemplo: um detritívoro dificilmente irá aproveitar apenas a matéria orgânica morta, já que em geral esta se encontra colonizada por uma variedade de organismos decompositores, que são digeridos juntamente com seu substrato orgânico. Assim, ele é ao mesmo tempo detritívoro e microbívoro. O mesmo se aplica aos onívoros: a biomassa humana não pode ser contabilizada em um nível trófico em particular, já que o ser humano se alimenta de produtores, herbívoros e carnívoros diversos (e até decompositores – exemplo do champignon; Figura 7.4).

Figura 7.4 Por ser onívoro, o ser humano não ocupa um nível trófico em particular. / Fonte: Cepa

## 5. Nutrientes

Começemos com uma definição:

### Definindo “nutriente”:

Nutriente = um elemento que é necessário para o crescimento de algum organismo.

Definido o termo, podemos dizer que os nutrientes são os elementos químicos essenciais para a manutenção de estruturas e de processos vitais. Há 3 categorias de nutrientes, definidas pela quantidade em que aparecem nos seres vivos: construtores, macronutrientes e micronutrientes (Figura 7.5).

Na natureza, os elementos químicos nutrientes apresentam-se na forma orgânica ou incorporados à biomassa e aos detritos. A ciclagem de nutrientes basicamente se refere à alternância entre as duas formas, que depende de processos biológicos, físicos (entre estes, os geológicos) e químicos; por isso, fala-se em ciclos biogeoquímicos. A parte da ciclagem da matéria que ocorre nas comunidades bióticas, como já vimos antes, é indissociável do fluxo de energia pelas mesmas.

Os produtores são os responsáveis pela incorporação inicial dos nutrientes à biomassa; a remineralização por decompositores é a última via de retorno desses nutrientes aos seus estoques inorgânicos. Na verdade, a remineralização ocorre ao longo de toda a cadeia alimentar: quando animais degradam aminoácidos com vistas à liberação de energia, liberam  $\text{CO}_2$ , água e nitrogênio na forma de amônia, exatamente como fazem os decompositores.

C				O				H				N				Construtores
Na		Mg		P		S		Cl		K		Ca		Macronutrientes		
F	Si	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	Se	Mo	Sn	I	Micronutrientes			

Figura 7.5 As categorias de nutrientes minerais se distinguem pelas quantidades necessárias para a manutenção dos processos biológicos nos indivíduos (os tamanhos dos elementos ilustrados simbolizam essas quantidades). / Fonte: Cepa

A assimilação de nutrientes pelos produtores muito frequentemente é facilitada por interações bióticas mutualísticas como micorrizas e bacteriorrizas ou, então, pela co-atuação de animais.

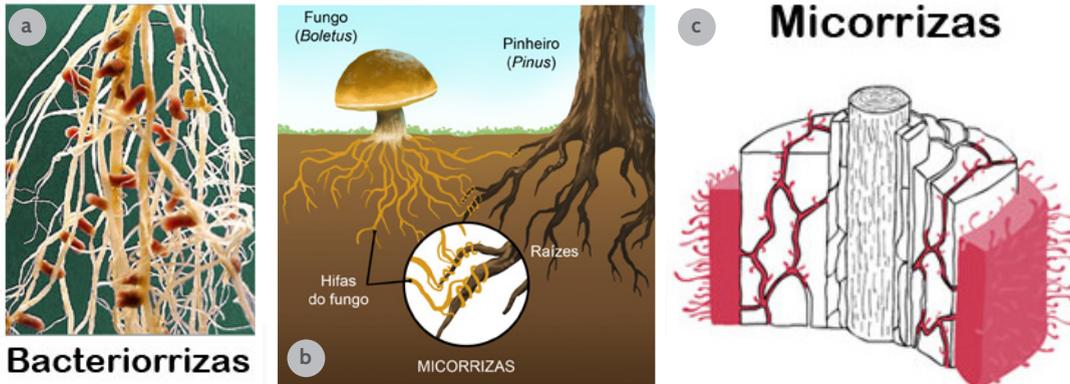


Figura 7.6 (a) Ectomicorriza. Esse tipo de micorriza não é o mais frequente entre as plantas em geral, porém é comum em pinheiros, eucaliptos e espécies de árvores e certos grupos de arbustos de zonas temperadas, como os carvalhos e os salgueiros. Os fungos participantes desse tipo de micorriza são basidiomicetos e alguns ascomicetos. (2 [superior]) Relação entre fungo (*Boletus*) e raízes de pinheiro (*Pinus*), formando micorrizas. (b) Pequena plântula de *Pinus* (4 cm) com raízes associadas a um extenso micélio correspondendo às hifas do fungo. Nesse tipo de associação, os fungos frequentemente liberam, ácidos orgânicos que ajudam a deslocar os nutrientes adsorvidos nas partículas do solo, tornando-os mais facilmente assimiláveis pela planta, da qual obtêm matéria orgânica e, portanto, energia (os fungos são heterótrofos). (c) Fotografia do sistema de raízes de uma leguminosa com nódulos contendo populações da bactéria *Rhizobium*, capaz de assimilar o nitrogênio gasoso  $N_2$  transformando-o numa forma utilizável pela planta, daí sua importância na agricultura especialmente no caso de solos pobres em nitrato. A formação dos nódulos nos tecidos das raízes é induzida pelas próprias bactérias, que aí encontram os recursos que necessitam para viver. / Fonte: Cepa

Quando se trata da remineralização de detritos, os decompositores propriamente ditos têm seu papel intimamente vinculado ao dos organismos detritívoros, já que eles promovem a quebra física das massas ou partículas de detritos, facilitando a atuação das bactérias e fungos. A decomposição, além disso, é afetada por fatores diversos, destacando-se a temperatura, a disponibilidade hídrica e o tipo de matéria orgânica a ser tratada (Figuras 7.7 e 7.8).

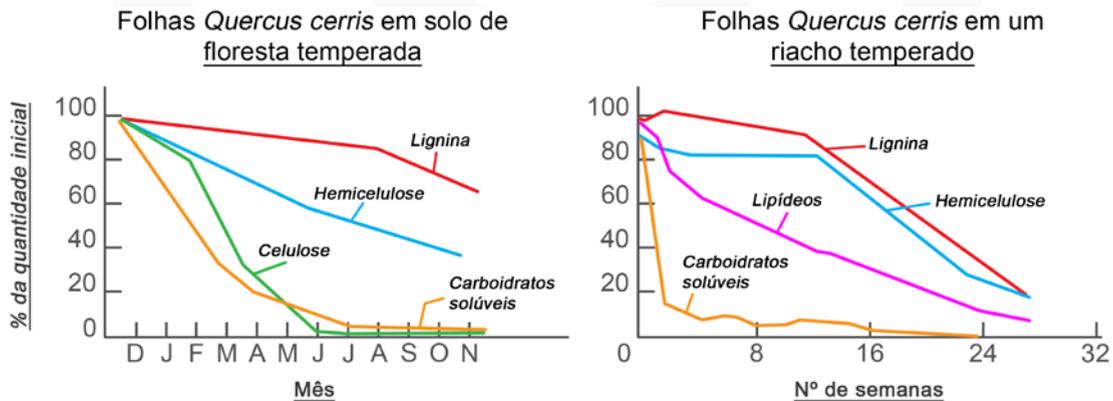


Figura 7.7 A taxa de decomposição da matéria orgânica da serapilheira (folhas mortas) depende de diversos fatores, destacando-se a temperatura, a disponibilidade da água e a natureza química dos materiais a serem decompostos. Os gráficos mostram o decaimento, por decomposição, da quantidade inicial de diversas substâncias presentes em folhas mortas de duas espécies de carvalho no solo e na água de um riacho numa floresta temperada. É notável a maior taxa de decomposição de carboidratos solúveis, quando comparada à da lignina e da hemicelulose (grande parte da matéria orgânica total). Também se destaca a maior taxa de decomposição de todos os compostos quando na água: no solo, depois de um ano, ainda restam pouco mais que 60% da lignina inicial, enquanto que no riacho, em cerca de 7 meses só sobrou 20% da lignina inicial, sendo os 60% atingidos em apenas pouco mais que 4 meses. / Fonte: Cepa

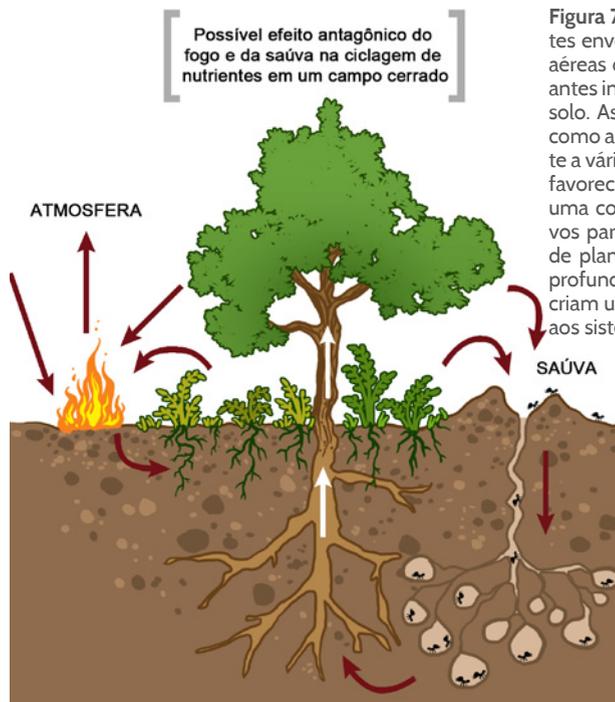


Figura 7.8 O esquema representa algumas vias de transferência de nutrientes envolvendo o fogo e as formigas saúva (*Atta*). O fogo queima as partes aéreas das plantas (árvores, arbustos e herbáceas) e com isso os nutrientes antes incorporados na biomassa queimada ficam nas cinzas na superfície do solo. As árvores têm seus sistemas de raízes geralmente muito profundos como adaptação para captar água do lençol freático que fica frequentemente a vários metros abaixo da superfície do solo. Com isso, as herbáceas ficam favorecidas, com seus sistemas radiculares superficiais. Com isso, haveria uma constante perda de nutrientes dos componentes arbóreos e arbustivos para as herbáceas. As saúvas, ao levarem fragmentos de folhas tanto de plantas maiores quanto de herbáceas para os depósitos subterrâneos profundos, onde são decompostos pelo fungo que lhes serve de alimento, criam uma via adicional pela qual os nutrientes da superfície podem chegar aos sistemas radiculares profundos das árvores e arbustos. / Fonte: Cepa

Entender a ciclagem da matéria é, em boa parte, conhecer os principais estoques naturais dos diversos nutrientes e os processos responsáveis pelas transferências dentro deles e entre eles (Figura 7.9).

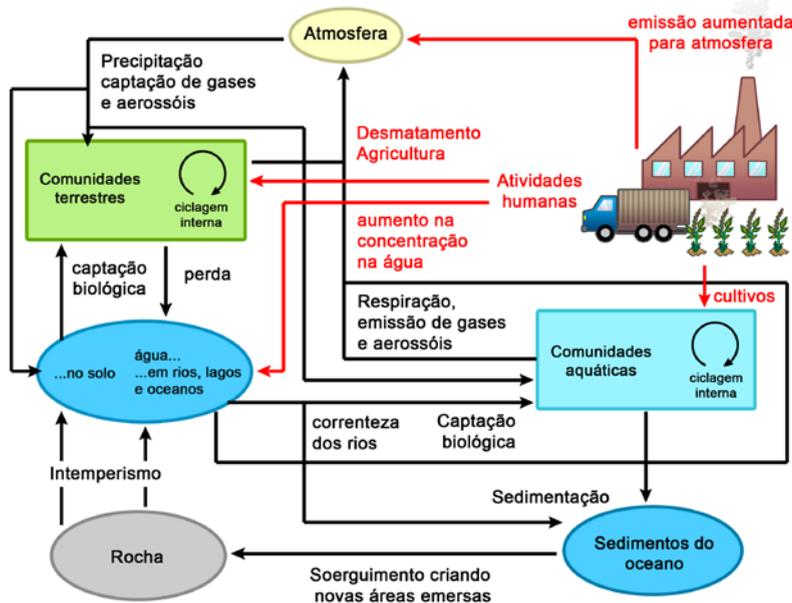


Figura 7.9 Estão representadas no esquema as mais importantes vias de transferência de nutrientes entre os grandes depósitos abióticos (atmosfera, hidrosfera e litosfera) e os bióticos, constituídos pelas comunidades terrestres e aquáticas. São destacadas (setas laranja) aquelas envolvendo atividades humanas. Tais atividades afetam direta ou indiretamente os fluxos de nutrientes através das comunidades devido aos efeitos da descarga de material extra na atmosfera e na água. / Fonte: Cepa

## 6. Interferência das atividades humanas: introdução

Muitas atividades humanas alteram os padrões de ciclagem (fluxos, depósitos) dos nutrientes, podendo trazer consequências locais, regionais ou globais.

A seguir, abordaremos alguns casos de poluição do ar e da água para exemplificar os efeitos de ações antrópicas.

O texto da lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente, define poluição como

“...a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a. prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b. criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c. afetem desfavoravelmente a biota;
- d. afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e. lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.”

Veja a lei na íntegra, clicando [aqui](#).

É interessante notar que dos 5 itens, 3 (a, b e d) são voltados diretamente para os interesses do ser humano, o que não significa obrigatoriamente que sejam situações lesivas ao ecossistema propriamente dito. No item c, é essencial definir o que significa “desfavoravelmente”. O item e, por sua vez, estabelece claramente que se trata de lançamento de matéria e energia. Vejamos então, primeiramente, a emissão intensiva de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis.

## 7. Interferência das atividades humanas: poluição

### O caso do carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) e metano

Mais recentemente, com a perspectiva do aquecimento global como resultado das atividades humanas, tem sido exaustivamente divulgada a relação entre o teor de gás carbônico e a temperatura da atmosfera, baseada na propriedade dos gases formados por dois elementos de absorver calor, produzindo o chamado efeito-estufa.

Muito embora consideremos alta a concentração atual de CO<sub>2</sub> – cerca de 0,036% ou 360 ppm (partes por milhão), algumas estimativas reportam níveis de até 0,7% ou 7.000 ppm no período Cambriano, há aproximadamente 500 milhões de anos. Da mesma forma, a temperatura atmosférica média global já foi substancialmente mais alta em longos períodos da história da Terra desde o Cambriano. Estima-se que, na época em que os dinossauros viveram, a água do Oceano Ártico foi entre 10 e 15 °C mais quente que hoje, podendo ter chegado a 20 °C.

É inegável, porém, que numa escala temporal mais estreita, estamos convivendo com os mais altos teores de  $\text{CO}_2$  dos últimos 450 mil anos, embora não se possa, por enquanto, dizer o mesmo da temperatura. Esta, em períodos mais ou menos regulares de aproximadamente 100 mil anos, ao longo dos últimos 450 mil anos, tem mostrado picos de aproximadamente  $3^\circ\text{C}$  acima da média de 1960 a 1990. A explicação para esse fenômeno é de ordem astronômica.

Também é inegável o forte incremento do teor de  $\text{CO}_2$  desde a revolução industrial, paralelamente ao grande aumento da população humana e do consumo mundial de energia. Estamos então aumentando a disponibilidade de  $\text{CO}_2$  no depósito atmosférico, à custa da mobilização do depósito subterrâneo fóssil (petróleo e carvão mineral; Figura 7.10).



Figura 7.10 À esquerda, um bloco submarino de hidrato de carbono do qual estão emanando bolhas do gás; à direita, fragmentos de hidrato de metano aos quais se ateou fogo. / Fonte: Cepa

Além das conhecidas consequências do aquecimento global por emissão de  $\text{CO}_2$ , em termos do derretimento das calotas polares e das mudanças climáticas regionais, há uma outra: a mobilização de enormes estoques de carbono na forma de metano (hidrato de metano), atualmente congelado nos fundos oceânicos. Sabemos que o metano é mais de 20 vezes mais potente que o  $\text{CO}_2$  como gás estufa. O aquecimento global decorrente das emissões de  $\text{CO}_2$ , ainda que da ordem de poucos graus, poderá desencadear a liberação massiva de metano para a atmosfera, gerando um processo auto-alimentado de aquecimento cada vez mais intenso. Acredita-se que essa “bomba-relógio” de metano tenha ocorrido pelo menos uma vez no passado, levando a um aquecimento de pelo menos  $7^\circ\text{C}$  e à extinção em massa de espécies (extinção do paleoceno).

## 8. Interferência das atividades humanas: poluição

### O caso da eutrofização dos corpos de água

A eutrofização de corpos de água é o resultado do aumento exagerado da concentração de nutrientes no meio aquático.

As etapas do processo são relativamente simples de entender:

- Excesso de nutrientes na água;
- Proliferação explosiva de produtores, ultrapassando a capacidade de suporte do ambiente, seguida de intensa mortalidade;
- Decomposição aeróbia do detrito acumulado;

- d. Consumo de  $O_2$  da água pelos decompositores aeróbios;
- e. Prejuízos a todo o componente biótico.

A eutrofização frequentemente se deve à descarga, em rios e lagos, de esgotos ricos em matéria orgânica e substâncias fosfatadas ou que contêm outros elementos, que uma vez decompostos levam ao excesso de nutrientes na água. Em ambientes rurais, a eutrofização pode ocorrer devido à lixiviação de nutrientes dos solos de áreas cultivadas, aos quais se aplicaram fertilizantes. Muitas das espécies que florescem nos eventos de eutrofização produzem metabólitos tóxicos, que contribuem para amplificar o impacto.

A eutrofização de lagos e rios é um exemplo de mudança local nos fluxos e estoques de nutrientes no meio aquático e, portanto, em seu padrão de reciclagem (Figuras 7.11 e 7.12).



Figura 7.11 Esquema da eutrofização de corpos d'água. / Fonte: Cepa



Figura 7.12 Algumas situações de interferência antrópica na ciclagem de nutrientes. / Fonte: Cepa

Esta semana vimos como ocorre o ciclo de matéria e energia nos ecossistemas, e como o homem interfere nos ambientes. Na semana que vem voltaremos a este assunto tão importante e atual, abordando mais profundamente os impactos ambientais.

## 9. Para saber mais

### Filme

- *Uma verdade inconveniente*, 2006, de Davis Guggenheim, Paramount Classics.

**Sinopse:** O ex-vice-presidente dos Estados Unidos Al Gore apresenta uma análise da questão do aquecimento global, mostrando os mitos e equívocos existentes em torno do tema e também possíveis saídas para que o planeta não passe por uma catástrofe climática nas próximas décadas.

- *Home – nosso planeta, nossa casa*, 2009, de Yann Arthus – Bertrand, Europa Filmes.

**Sinopse:** Em algumas poucas décadas, a humanidade interferiu no equilíbrio estabelecido no planeta há aproximadamente quatro bilhões de anos de evolução. O preço a pagar é alto, mas é tarde demais para ser pessimista. A humanidade tem somente dez anos para reverter essa situação, observar atentamente à extensão da destruição das riquezas da Terra e considerar mudanças em seus padrões de consumo. Ao longo de uma seqüência única através de 54 países, toda filmada dos céus, Yann Arthus-Bertrand divide conosco sua admiração e preocupação com esse filme e finca a pedra fundamental para mostrar que, juntos, precisamos reconstruí-lo.

## Mãos à Obra

### Questionário

1. Escolha entre as palavras sublinhadas a que melhor completa a frase:  
O ciclo de energia é unidirecional/bidirecional, de modo que a energia perdida em um nível fica/não fica disponível para o nível seguinte. Assim, pirâmides de energia sempre/nunca são invertidas, pois para o nível seguinte a energia disponível é sempre maior/menor.

2. Observe o esquema a seguir (Figura 7.13) e responda ao que se pede:



- Que tipo de pirâmide está representada e por quê?
- Esta pirâmide poderia ser **invertida**? Por quê?